

## 美国 SEC 新准则下类比油气藏建立方法研究

孙秋分<sup>1</sup>, 蒋新<sup>1</sup>, 刘展<sup>2</sup>, 谢锦龙<sup>1</sup>, 孟海燕<sup>1</sup>, 徐良<sup>1</sup>, 王柏力<sup>1</sup>

(1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油大学地球资源与信息学院)

**摘要** 通过研究和对比 SEC 新准则下的类比油气藏及 SPE PRMS(油气资源管理系统)中的类比内容,结合国内油气藏类型与特征,提供了类比油气藏的建立原则和具体步骤方法以及建立类比油藏与类比气藏实例。对油气藏地质特性、流体特性、岩石物性、工程特性、经济参数等进行综合研究,优选出类比油藏 37 个参数,类比气藏 34 个参数,可供定量分析与定性分析以及辅助目标油气藏采收率的研究。提出以油气藏类型与开发阶段为基础的类比序列概念,为在证券交易所上市的石油公司作储量评估,特别是为扩边新发现的证实未开发储量采收率的确定,提供了一种 SEC 认可的方法。

**关键词** 油气储量评估; 油气藏类比; 评估准则; SEC 准则; 评估方法

**中图分类号**: TE112.36

**文献标识码**: A

2008 年 12 月 31 日美国 SEC (Securities and Exchange Commission, 美国证券交易委员会)发布了油气储量评估新准则,定于 2010 年 1 月 1 日起正式执行,所有在美国上市的石油公司都需按新准则对其储量进行评估与评价。证实储量 (Proved Reserves, 简称 P1)是指经济的、剩余的、已发现的、可采的那部分储量,四个要素缺一不可,它由证实已开发储量 (Proved Developed, 简称 PD)和证实未开发储量 (Proved Undeveloped, 简称 PUD)构成。SEC 新准则首次就类比油气藏给出明确的定义,并认可了类比油气藏在证实未开发储量评估中的作用,特别是认可了它在 PUD 采收率中的标定作用。

### 1 SEC 与 SPE PRMS 两种国际规则的比较

SEC 新准则中的类比油藏是指:当用在资源评价时,具有与目标油藏相似的岩石和流体性质、油藏条件(深度、温度和压力)和驱动机理,与目标油藏相比,开发阶段更进一步的油藏。因此它可以为有限数据下的采收率评估提供指导。类比油藏与目标油藏

具有几个共同的特征,即具有相同的地质地层、相同的沉积环境、相似的地质构造、相同的驱动机理。需要指出的是,SEC 新准则明确提出目标油藏的总体性质必须好于类比油藏。同时,尽管类比油藏与目标油藏必须处于同一个地质层位,但它们没必要同处在一个压力系统。SEC 新准则和 SPE PRMS (Society of Petroleum Engineers, Petroleum Resources Management System, 石油工程学会的油气资源管理系统)在储量评估中对类比油藏的处理具有很强的相似性,虽然两者均由 SEC 新准则的作者编写,但两者之间仍然有一些显著的差异。

① 尽管 SEC 的部分标准和 SPE 的完全一样(例如 SEC 定义中的第一部分与 SPE PRMS 中的术语定义),但是 SPE PRMS 还提供了额外的类比参数,这对于类比油藏的建立是很重要的;

② SEC 介绍了储层物性的详细对比,而 SPE 对这样的物性参数如何对比论述较少;

③ 虽然这两套系统均论述了对比的地质区域和年代的问题,但描述性文字不相同;

④ SPE 提到了多个类比油藏的使用,但 SEC 没

收稿日期: 2011-03-18

本文受国家 863 重点项目(编号:2009AA062802)及国家油气专项(编号:2008ZX05020)资助

孙秋分:1981 年生,硕士。2008 年毕业于中国石油大学(华东)。主要从事油气储量评估等工作。通讯地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路 920 号;电话:(0571)85226227

有提及。

相对于类比油藏,目标油藏未被明确定义,笔者认为该类油藏是指为了进行证实储量评估而需要进一步研究的目的油藏,一般未进入正式开发阶段或处于开发初期,对油藏地质条件与储层特征的认知尚不十分明确。对目标油藏的研究,特别是采收率的标定,是建立类比油藏的主要目的,本文将“类比油藏”的概念扩展至“类比油气藏”。

## 2 类比油气藏的建立原则与类型划分

### 2.1 建立原则

类比油气藏应选择那些地质和开发资料基本可靠、开发单元有一定规模、井网基本完善、注水方式合理、开发时间较长、规律性较好及采收率评估合理的油气藏。类比油气藏选择范围应以独立开发单元或评估单元为基础,结合储量评估单元,包含所有采用动态法标定的单元,在没有符合条件的开发单元或评估单元时,可按试验区、井组或典型井等为单元建立。因此,类比油气藏的大小可以是一个油气田、一个油气藏、一个开发试验区,甚至可以是一个井组。同时,一个油气藏可按不同开发阶段建成多个类比油气藏。具体建立过程中,应遵循如下六个原则。

(1)已开发储量的面积圈定要符合 SEC 油气准则的规定;

(2)当有新钻井且油层有效厚度发生变化时,需重新计算地质储量;

(3)重新评估类比油气藏总可采量;

(4)类比油气藏与目标油气藏必须在同等经济条件下对比;

(5)根据目标油气藏特性建立类比油气藏,以服务扩边新发现的储量评估;

(6)对类比参数进行说明。

### 2.2 类型划分

类比油气藏分类的一级序列按表 1 所示,在一级序列框架下,可根据油气田实际情况考虑岩性、油气藏类型、流体、驱动类型、开发方式等因素逐级细分。

以渗透性、驱动类型、岩性等因素为基础,本文给出了类比气藏类型的“3+X”分类方法,即“渗透性+驱动类型+岩性+X”,如“中高渗气驱砂岩凝析气藏”。其中,气藏渗透性分为特低、低、中、高;驱动类

型分为气驱、弱水驱、中强水驱;岩性分为砂岩、碳酸盐岩和火山岩;X 可以为凝析气藏、异常高压、异常低压、含硫、带油环等,若无特征可以是空值。

表 1 类比油气藏一级序列分类表

序号	油气藏类型
1	中高渗注水砂岩油气藏
2	低渗透砂岩油气藏
3	裂缝性砂岩油气藏
4	中高渗复杂断块油气藏
5	低渗复杂断块油气藏
6	天然能量开发油气藏
7	砾岩油气藏
8	裂缝性碳酸盐岩油气藏
9	稠油热采油藏
10	特殊类型油气藏

## 3 类比油气藏的建立方法

类比法主要用于油气田开发前期或初期,一般是通过与油气区已进入开发中后期的油气田(最好是已枯竭的油气田)进行类比而获得采收率数据<sup>[1]</sup>。碳酸盐岩油气藏以往类比时至少应考虑六个参数,即油气藏类型、驱动类型、埋藏深度、平均渗透率、地下原油黏度及气油比<sup>[2-4]</sup>。从现场经验来看,由于碳酸盐岩油气藏复杂的地质条件,这六个参数不能完全反映油气藏之间的相似性,因而难以保证基于这六个参数的油气藏之间的相似性,这时类比法不能完全满足 SEC 新准则下证实未开发油气藏采收率的标定<sup>[5-9]</sup>。

类比油气藏序列可较全面地涵盖上市储量评估过程中遇到的油气类型,它可为目标油藏研究提供基于类比方法的基础数据与图形支持,是本文提出的包含全部典型油气藏类型及其不同开发阶段的类比油气藏集合,此方法对碳酸盐岩等复杂油气藏储量评价研究也具有一定的促进作用。

### 3.1 类比资料数据

综合研究储量计算、储层及流体性质、油气藏开发、油气藏评价所涉及到的参数,本文较完善地提出了类比油气藏的参数表,类比油藏优选了 37 个类比参数(表 2),类比气藏优选了 34 个类比参数(表 3),并制定了基础参数的填写规范,提出类比油气藏应具备七种图件(开发构造井位图、有效厚度等值线

图、区块油层渗透率分布直方图、油层孔隙度分布直方图、油藏剖面图、典型评估曲线、综合开采曲线),

给出了制图格式。以此为基础,就可以根据目标油藏的情况对类比油气藏进行定量与定性分析。

表 2 油藏类比基础参数表(以准噶尔盆地 B 油藏为例)

项目	参数项	参数值	项目	参数项	参数值
基础信息	类比油藏名称	B	储层及流体性质	油藏类型	砾岩油藏
	所在油田	X		储层岩性	砾岩—砂岩
	区域构造(盆地)	准噶尔盆地		储集类型	孔隙型
	含油层位	克下组(T <sub>2</sub> k)		净毛比	0.49
储量计算参数	面积(km <sup>2</sup> )	7.2		空气渗透率( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	2.95
	有效厚度(m)	25.1		渗透率变异系数	2.92
	孔隙度(%)	12		沉积环境	洪积相
	含油饱和度(%)	49		驱动机理	溶解气驱
	原油体积系数	1.32		驱油效率(%)	57.58
	地面原油密度(t/m <sup>3</sup> )	0.83		埋藏深度(m)	1720
	原油地质储量( $\times 10^4$ t)	668.17		原始地层压力(MPa)	16.3
	技术可采储量( $\times 10^4$ t)	140.31		原始饱和压力(MPa)	16.3
开发参数	开发方式	注水	评价参数	原始地层温度(°C)	44.8
	井网密度(口/km <sup>2</sup> )	13.2		地层原油黏度(MPa·s)	0.5
	平均单井初始稳定产量(t/d)	10.3		评估时间(年)	2010
	综合含水率(%)	61.4		油价(元/t)	2491
	综合递减率(%)	7.78		单位操作成本(元/t)	39
	采出程度(%)	17.25		总可采量( $\times 10^4$ t)	134.57
				经济采收率(%)	20.1

表 3 气藏类比基础参数表(以鄂尔多斯盆地 E 气藏为例)

项目	参数项	参数值	项目	参数项	参数值
基础信息	类比油藏名称	E	储层及流体性质	气藏类型	岩性
	所在气田	Y		气水接触关系	无水
	区域构造(盆地)	鄂尔多斯		储集类型	孔隙型
	含气层位(层位)	山西组 2		沉积环境	河流—三角洲
储量计算参数	含气面积(km <sup>2</sup> )	773.59		驱动机理	弹性驱动
	有效厚度(m)	8.3		含硫量(g/m <sup>3</sup> )	无数据
	有效孔隙度(%)	6.4		CO <sub>2</sub> 含量(g/m <sup>3</sup> )	无数据
	含气饱和度(%)	74.5		原始凝析油含量(g/m <sup>3</sup> )	无数据
	天然气体积系数	0.00426		平均渗透率( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	3.14
	天然气地质储量( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	719.21		埋藏深度(m)	2846.5
	技术可采储量( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	489.06		原始地层压力(MPa)	27.201
				原始地层温度(°C)	67.05
开发参数	开发方式	衰竭式	评价参数	评估时间(年)	2009
	井网密度(口/km <sup>2</sup> )	0.44		不含税气价(元/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	2010
	单井初期日产气量( $\times 10^4 \text{m}^3$ )	4		直接操作成本(元/t)	97.04
	水气比(m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	未计算		总可采量( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	291.47
	综合递减率(%)	6.6		经济采收率(%)	40.5
	采出程度(%)	18.2			

### 3.2 技术路线

在类比油气藏建立过程中,根据开发资料对地质储量进行复算,总可采储量的计算或核实要依据

上市储量评估方法或其它国际通用的评估方法来确定,以递减法为主。已枯竭油气田历史累积产量作为其证实储量。图1以碳酸盐岩、砾岩、砂岩与火山岩类比油气藏的建立为例给出了研究技术路线。

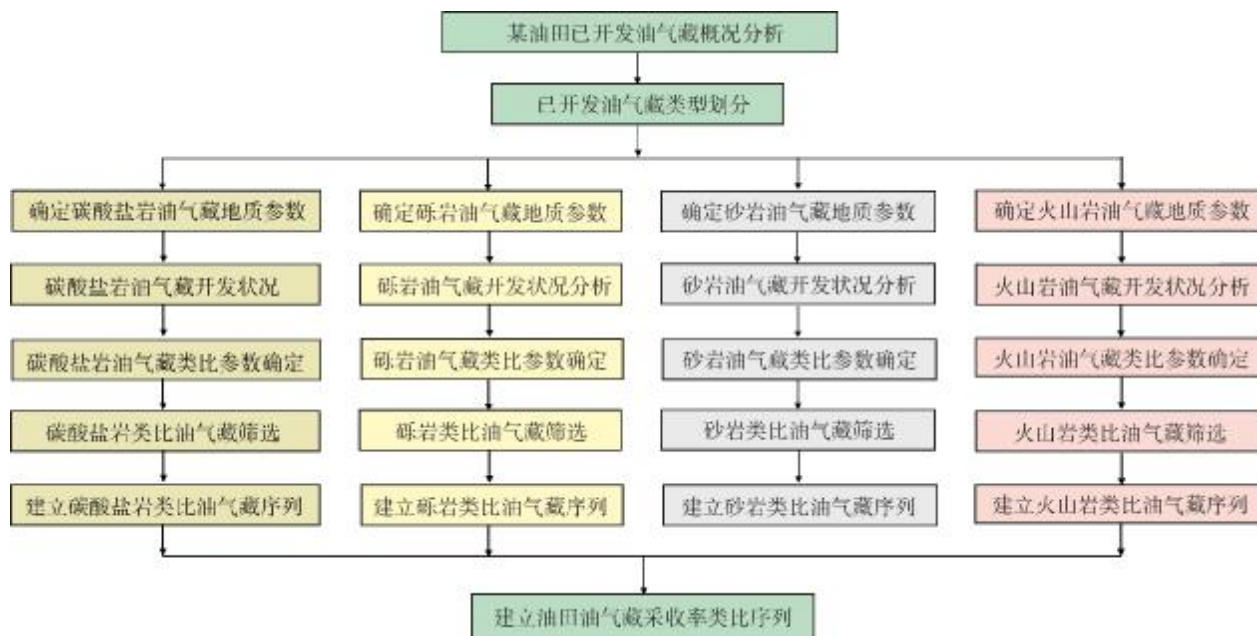


图1 类比油气藏研究技术路线

### 3.3 建立步骤

首先,进行类比油气藏基本情况研究,包括地质简况、油气藏特征和开发历史。

其次,进行类比油气藏地质储量核实或复算。合理选取类比油气藏地质储量计算参数,开发后储量经过复算、核算,或利用动态法检验计算地质储量结果。如A油田,目前探明地质储量 $3177 \times 10^4 \text{ t}$ ,按8.0%的采收率计算,其总可采量为 $254 \times 10^4 \text{ t}$ ,2008年评估出证实储量为 $69.2 \times 10^4 \text{ t}$ ,这在同类油田中采收率属偏低。通过对开发后储量进行复算,地质储量为 $2012 \times 10^4 \text{ t}$ ,重新计算其采收率为12.6%,这个结果认为较合理。

再次,估算最终可采量(最终可采量=累积产量+证实储量)。这个数据要基于三个前提,即开发资料准确可靠、评估方法合理、评估结果符合油田开发实际状况。例如B油田,2007年以92美元/bbl油价评估,原油证实储量为 $3391 \times 10^4 \text{ t}$ ,其储量寿命至2037年4月;2008年以44美元/bbl油价来评估,

其原油证实储量为 $2359 \times 10^4 \text{ t}$ ,寿命至2022年10月,储量同比减少了30.43%,采收率由35.57%降低到了24.74%。由此可见经济条件对证实储量的评估结果具有非常大的影响。

最后,填写类比参数表与制图,类比地质参数要与开发动态的数据相对应,参数选取要有截止时间。

## 4 实例分析

对Q油区270个油气藏开发单元资源情况和开发状况进行整体分析,并开展已开发油气藏类型划分、不同类型油气藏地质特征研究、不同类型油气藏基本开发状况分析、不同类型油气藏采收率影响因素等专题研究,确定了类比采收率油气藏参数值,进行了类比采收率油气藏的筛选,最终建立该油田采收率类比油气藏序列,每个类比油气藏对应一张参数表与七张图,为目标油气藏研究提供必要依据。类比油藏和类比气藏分别以X油田B井区、Y气田E气藏为例建立。



4.1 类比油藏实例

B井区属于砾岩油藏,位于准噶尔盆地西北缘,是一个由夏红北断裂和夏10断裂夹持的呈东西向的条带状断块油气聚集带(图2,图3),区内构造复杂,断裂褶皱发育。纵向上自下而上划分出 $S_8$ 、 $S_7$ 、 $S_6$ 三个砂层组,为洪积扇相,东部属洪积扇相扇顶的主槽及滩微相沉积,西部则过渡为辫流线和辫流砂岛微相沉积,且以辫流砂岛微相沉积为主,主要为砂砾岩夹杂薄层的含砾砂岩、粗砂岩,储层孔隙度在4.3%~19.29%之间,平均孔隙度11.92%(图4)。渗透率在 $(0.11\sim492.97)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均渗透率

$2.95\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图5),为低孔隙、特低渗透、非均质程度高的储集层。油层平均有效厚度25.1m(图6),属于溶解气驱、气驱饱和油藏。此油藏于1991年投入开发,在实施中根据不断增加的新井资料对开发部署做了调整。初期有油井66口,水井24口,区块日产液485t,日产油468t,含水6%,日注水515t。1998—2000年,按照综合治理方案部署进行二期治理,其中钻新井7口,对减缓油藏递减、动用死油区起到重要作用。截止2010年12月,油藏进入低产稳产开采阶段,日产液171t,日注水701t,综合含水64.3%,累积产油 $115.27\times10^4\text{t}$ (图7)。类比参数如表2所示,类比图件见图2—图7。

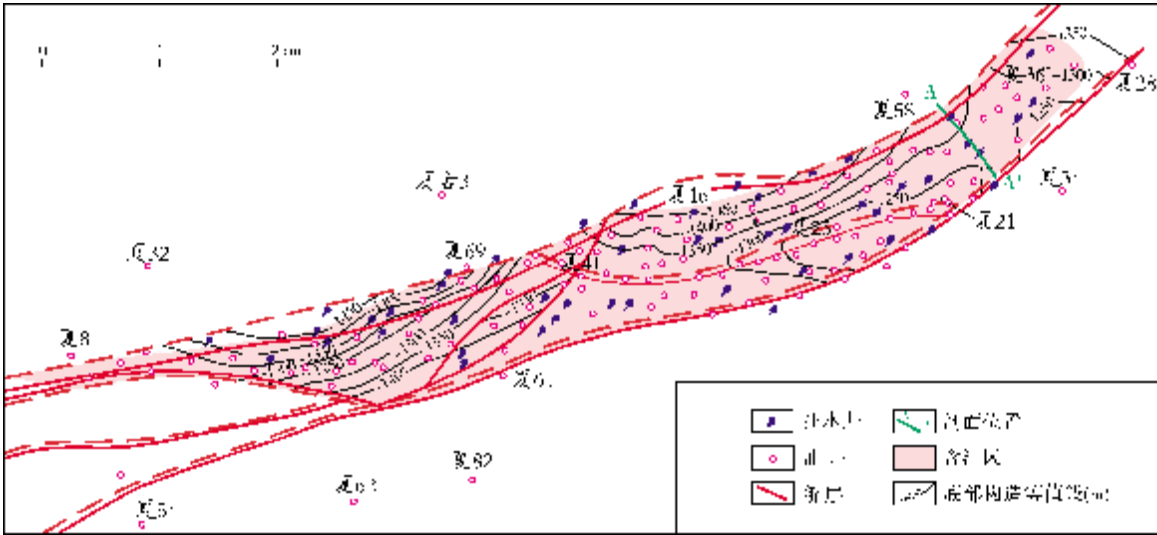


图2 准噶尔盆地西北缘B井区开发构造井位图

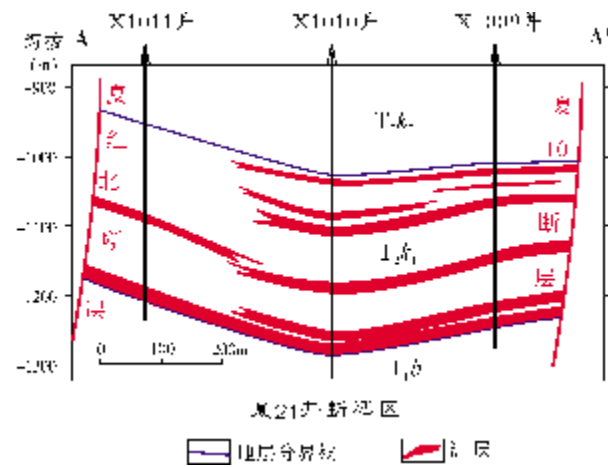


图3 准噶尔盆地西北缘B井区油藏剖面图  
 $T_{k2}$  克上组;  $T_{k1}$  克下组;  $T_b$  百口泉组

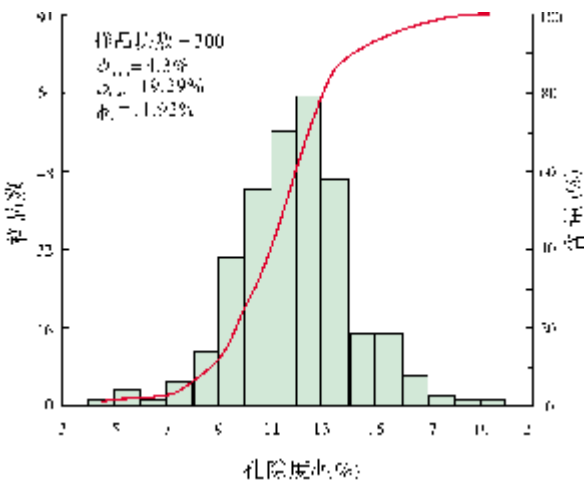


图4 准噶尔盆地西北缘B井区储层孔隙度分布直方图

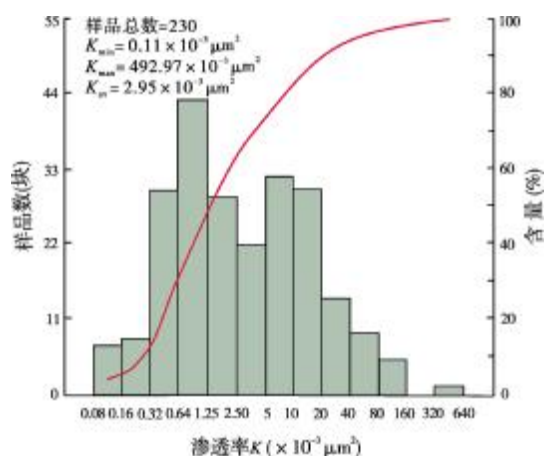


图5 准噶尔盆地西北缘B井区储层渗透率分布直方图

## 4.2 类比气藏实例

以鄂尔多斯盆地Y气田E区为例建立类比气藏,主力气层为上古生界山西组2段。储集岩性以中粗粒石英砂岩及岩屑质石英砂岩为主,储集空间以粒间孔为主,其次有溶孔、晶间孔及少量微裂缝。物性特征为低孔、相对高渗,孔隙度3.5%~10%,渗透率 $(0.3\sim35)\times10^3\mu\text{m}^2$ 。该气田2009年已累计动用地质储量 $1519\times10^8\text{m}^3$ ,以本区南部作为类比气藏,根据地质条件和井网完善情况,综合确定该类气藏采收率为40.5%。类比气藏基础参数如表3所示,图形与类比油藏相类似。

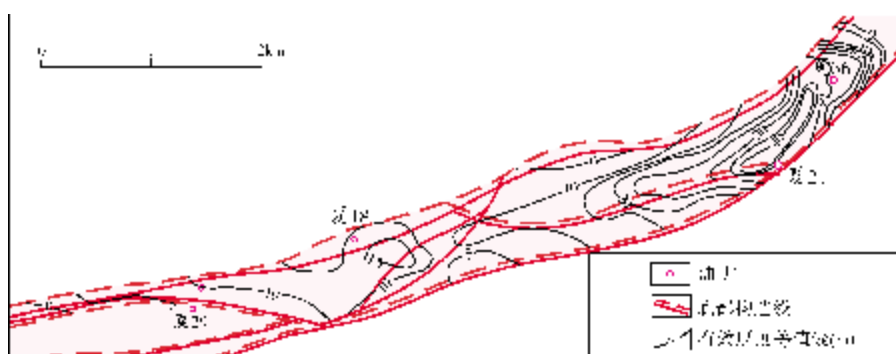


图6 准噶尔盆地西北缘B井区油层有效厚度等值线图

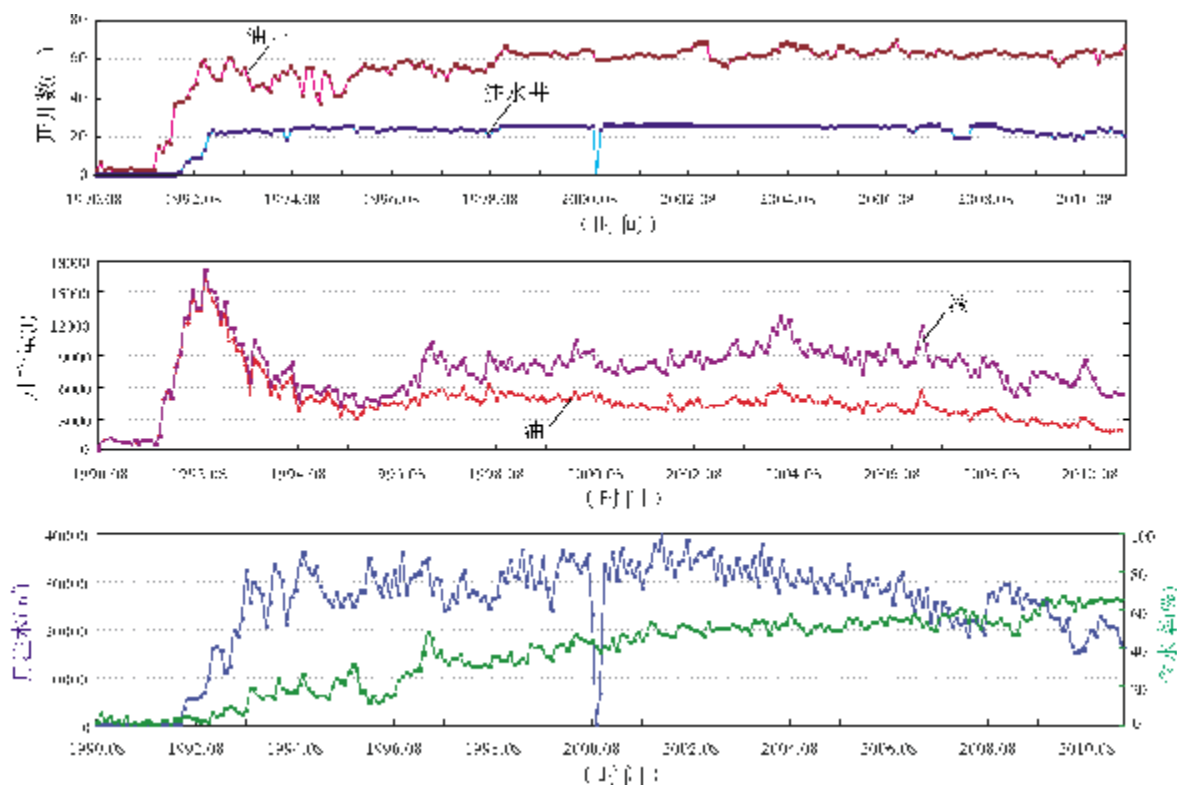


图7 准噶尔盆地西北缘B井区综合开采曲线图

## 5 结 语

包含全部典型油气藏类型及其不同开发阶段的类比油气藏序列,能够辅助证实未开发储量的评估,特别是在扩边新发现储量资料有限的情况下,可有效辅助证实未开发储量采收率的标定,提高目标油藏采收率的可靠性与 SEC 认可度。进一步建立类比油气藏数据库系统,加深对国内外类比方法和条件的认识,利用聚类分析方法对目标油藏进行自动分析,筛选出最适合的类比油气藏,实现采收率确定的自动化辅助,将能够提高 SEC 上市储量评估的工作效率。

### 参 考 文 献

- [1] 冉启佑. 碳酸盐岩油藏采收率标定的新型经验公式[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 50-52.
- [2] 孙秋分, 蒋新, 谢锦龙, 等. 美国 SEC 新规则下的石油公司储量管理及控制[J]. 国际石油经济, 2011, 19(7): 57-63.
- [3] 孙秋分, 谢锦龙, 蒋新, 等. 美国 SEC 新准则下类比油气藏数据库系统设计与研发[J]. 石油工业计算机应用, 2011, (2): 11-15.
- [4] 贾承造. 美国 SEC 油气储量评估方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [5] 孙秋分, 谢锦龙, 刘展, 等. 基于多尺度空间体元的地学三维建模研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(10): 278-280.
- [6] Worthington P F. An electrical analog facility for hydrocarbon reservoirs[R]. SPE 96718, 2005.
- [7] Hodgins J E, Harrell D R. The selection, application, and misapplication of reservoir analogs for the estimation of petroleum reserves[R]. SPE 102505, 2006.
- [8] W J Lee. Reserves in unconventional reservoirs: effect of new SEC rules[R]. SPE 123384, 2009.
- [9] W J Lee. An update on the use of reservoir analogs for the estimation of oil and gas reserves[R]. SPE 129688, 2010.

编辑: 金顺爱

## Establishment of Analogous Oil and Gas Reservoirs in the New SEC Rule

Sun Qiufen, Jiang Xin, Liu Zhan, Xie Jinlong, Meng Haiyan,  
Xu Liang, Wang Baili

**Abstract:** The analogical data of the analogous oil and gas reservoirs by the new rule of SEC (Securities and Exchange Commission, U.S.A.) are compared with those by PRMS (Petroleum Resources Management System, SPE). In the term of the classification and characteristics of oil and gas reservoirs in China, the establishment principle and reifying steps are proposed, for which some method cases of analogous oil reservoirs and gas reservoirs are given. On the basis of integrated analysis of geology characteristics, fluid feature, rock property, engineering attribution and economical parameters, 37 parameters for analogous oil reservoirs and 34 parameters for analogous gas reservoirs are selected, which can be used in quantitative and qualitative analysis and can effectively assist the estimation of reservoir recovery rate. A concept of "Analogical reservoir sequence" is proposed on the basis of classification and development period of analogous reservoirs, which can supply a new technical method accepted by SEC for the public assessment of oil and gas reserves in stock exchanges, particularly in the determination of recovery rate of undeveloped reserves.

**Key words:** Estimation of oil and gas reserves; SEC Rules; Estimation rule; Estimation method; Reservoir Analog

Sun Qiufen: male, Master, Engineer. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China